

10 / 538689  
PCT/JP03/15883

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

11.1203

10 JUN 2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

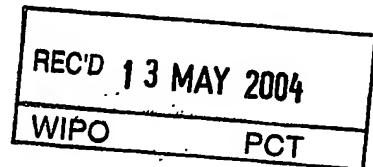
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年12月13日

出願番号  
Application Number: 特願 2002-363127

[ST. 10/C]: [JP 2002-363127]

出願人  
Applicant(s): 独立行政法人 科学技術振興機構

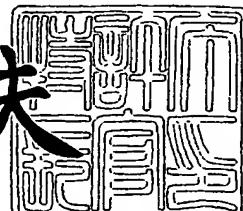


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 4月23日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P2232JST  
【提出日】 平成14年12月13日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区栗生1-7-12  
【氏名】 猪俣 浩一郎

【発明者】  
【住所又は居所】 宮城県仙台市太白区長町8-2-31-205  
【氏名】 手束 展規

【特許出願人】  
【識別番号】 396020800  
【氏名又は名称】 科学技術振興事業団

【代理人】  
【識別番号】 100082876  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 平山 一幸  
【電話番号】 03-3352-1808

【選任した代理人】  
【識別番号】 100069958  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 海津 保三

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 031727  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0013677

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 スピン注入デバイス及びスピン注入磁気装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 スピン偏極部と注入接合部とを有するスピン注入部と、非磁性層を介して磁気的に反平行に結合した磁化の大きさが異なる第1の磁性層と第2の磁性層を有する S y A F を備え、この S y A F と上記注入接合部とが接合しており、上記スピン注入部からスピン偏極電子を注入し上記第1の磁性層及び上記第2の磁性層の磁化が反平行状態を維持したまま磁化反転する、スピン注入デバイス。

【請求項 2】 前記スピン注入部の注入接合部が、非磁性導電層及び非磁性絶縁層のいずれかであることを特徴とする、請求項 1 に記載のスpin注入デバイス。

【請求項 3】 前記スpin注入部の注入接合部が、前記スpin偏極電子についてスpin保存伝導可能及びトンネル接合可能のいずれかであることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載のスpin注入デバイス。

【請求項 4】 前記スpin注入部のスpin偏極部が、強磁性層であることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 の何れかに記載のスpin注入デバイス。

【請求項 5】 前記スpin注入部のスpin偏極部が、強磁性層のスpinを固定する反強磁性層を接して設けたことを特徴とする、請求項 1 ~ 3 の何れかに記載のスpin注入デバイス。

【請求項 6】 前記スpin注入部の注入接合部と接合した S y A F の第1の磁性層及び第2の磁性層のアスペクト比が 2 以下であることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 の何れかに記載のスpin注入デバイス。

【請求項 7】 非磁性層を介して磁気的に反平行に結合した磁化の大きさが異なる第1の磁性層と第2の磁性層とを有するとともに、この第1の磁性層と第2の磁性層の磁化が反平行状態を維持したまま磁化反転可能なフリー層と、このフリー層と絶縁層を介してトンネル接合した強磁性固定層とを備え、この強磁性固定層と上記フリー層とが強磁性スピントンネル接合したスpin注入磁気装置。

【請求項 8】 前記構成に加え、前記フリー層に接合する注入接合部とスピ

ン偏極部とを有するスピン注入部を備えたことを特徴とする、請求項7に記載のスピン注入磁気装置。

**【請求項9】** 前記スピン注入部の注入接合部が、非磁性導電層及び非磁性絶縁層のいずれかであることを特徴とする、請求項8に記載のスピン注入磁気装置。

**【請求項10】** 前記スピン注入部の注入接合部が、前記スピン偏極電子についてスピン保存伝導可能及びトンネル接合可能のいずれかであることを特徴とする、請求項8又は9に記載のスピン注入磁気装置。

**【請求項11】** 前記スピン注入部のスピン偏極部が、強磁性層であることを特徴とする、請求項8～10の何れかに記載のスpin注入磁気装置。

**【請求項12】** 前記スpin注入部のスpin偏極部が、強磁性層のスpinを固定する反強磁性層を接して設けたことを特徴とする、請求項8～10の何れかに記載のスpin注入磁気装置。

**【請求項13】** 前記スpin注入部の注入接合部と接合したフリー層の第1の磁性層及び第2の磁性層のアスペクト比が2以下であることを特徴とする、請求項7～12の何れかに記載のスpin注入磁気装置。

**【請求項14】** 前記スpin注入部をワード線としたことを特徴とする、請求項8～13の何れかに記載のスpin注入磁気装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

この発明は電子のスpinを制御した機能デバイス、特に超ギガビット大容量・高速・不揮発性磁気メモリに利用し、より小さな電流密度でスpin注入磁化反転可能にするためのスpin注入デバイス及びスpin注入磁気装置に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

近年、強磁性層／非磁性金属層／強磁性層からなる巨大磁気抵抗（GMR）効果素子および強磁性層／絶縁体層／強磁性層からなる強磁性スピントンネル接合（MTJ）素子が開発され、新しい磁界センサーや磁気メモリ（MRAM）への

応用が期待されている。

GMRは、外部磁場によって2つの強磁性層の磁化を互いに平行あるいは反平行に制御することにより、界面でのスピン依存散乱によって抵抗が互いに異なることに起因して巨大磁気抵抗効果が得られている。

一方、MTJでは、外部磁場によって2つの強磁性層の磁化を互いに平行あるいは反平行に制御することにより、膜面垂直方向のトンネル電流の大きさが互いに異なる、いわゆるトンネル磁気抵抗（TMR）効果が得られる（例えば、非特許文献1参照）。

#### 【0003】

トンネル磁気抵抗率TMRは、用いる強磁性体と絶縁体との界面におけるスピン分極率Pに依存し、二つの強磁性体のスピン分極率をそれぞれP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>とすると、一般に次の式で与えられることが知られている。

#### 【0004】

$$TMR = 2 P_1 P_2 / (1 - P_1 P_2)$$

ここで、強磁性体のスピン分極率Pは0 < P ≤ 1の値をとる。

#### 【0005】

現在、得られている室温における最大のトンネル磁気抵抗率TMRはP～0.5のCoFe合金を用いた場合の約50パーセントである。

GMR素子はすでにハードディスク用磁気ヘッドに実用化されている。MTJ素子は現在、ハードディスク用磁気ヘッドおよび不揮発性磁気メモリ（MRAM）への応用が期待されている。

MRAMではMTJ素子をマトリックス状に配置し、別に設けた配線に電流を流して磁界を印加することで、各MTJ素子を構成する二つの磁性層を互いに平行、反平行に制御することにより、“1”、“0”を記録させる。

読み出しはTMR効果を利用して行う。しかし、MRAMでは大容量化のために素子サイズを小さくすると、反磁界の増大により磁化反転に必要な電流が増し、消費電力が増大するという解決すべき課題を抱えている。

#### 【0006】

このような課題を解決する方法としては、非磁性金属層を介して二つの磁性層

が互いに反平行に結合している三層構造（人工反強磁性膜、Synthetic Antiferromagnet、以下「SyAF」と記載する。）が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

#### 【0007】

このようなSyAF構造を用いると反磁界が軽減するため、素子サイズを小さくしても磁化反転に必要な磁場が低減される。

一方、最近、電流磁場を用いない新しいスピン反転法が理論的に提案され（例えば、非特許文献2参照）、実験的にも実現されている（例えば、非特許文献3参照）。

#### 【0008】

このスピン反転法は、図6にその原理を示すように、第1の強磁性層61／非磁性金属層63／第2の強磁性層65からなる三層構造において、第2の強磁性層63から第1の強磁性層61に電流を流すと、第1の強磁性層61から非磁性金属層63を介して第2の強磁性層65にスピン偏極電子が注入され、第2の強磁性層65のスピンが反転するというものであり、スピン注入による磁化反転と呼ばれている。

#### 【0009】

このスピン注入磁化反転は三層構造において、第1の強磁性層61のスピンが固定されているとすると、第1の強磁性層61から非磁性金属層63を経てスピン注入すると、注入した上向きスピン（多数スピン）が第2の強磁性層65のスピンにトルクを与え、そのスpinを同じ向きにそろえる。したがって、第1の強磁性層61と第2の強磁性層のスpinが平行になる。

#### 【0010】

一方、電流の向きを逆に与え、第2の強磁性層65から第1の強磁性層61にスピン注入すると、第1の強磁性層61と非磁性金属層63との界面で下向きスピン（少数スピン）が反射し、反射したスピンが第2の強磁性層65のスピンにトルクを与え、そのスpinを同じ向き、つまり下向きにそろえようとする。その結果、第1の強磁性層61と第2の強磁性層65のスpinは反平行になる。

したがって、この三層構造のスpin注入磁化反転では、電流の向きを変えるこ

とによって第1の強磁性層と第2の強磁性層のスピンを平行にしたり反平行にしたりできる。

### 【0011】

#### 【特許文献1】

特開平9-251621号公報（フロントページ、第1図）

#### 【非特許文献1】

T. Miyazaki and N. Tezuka, "Spin polarized tunneling in ferromagnet/insulator/ferromagnet junctions" (1995), J. Magn. Magn. Mater. L39, 1231

#### 【非特許文献2】

J. C. Slonczewski, "Current-driven excitation of magnetic multilayer" (1996), J. Magn. Magn. Mater., 15, L1-L7

#### 【非特許文献3】

J. A. Katine, F. J. Albert, R. A. Ruhman, E. B. Myers and D. C. Ralph 「Current-Driven Magnetization Reversal and Spin-wave Excitation in Co/Cu/Co Pillars」、Phy. Rev. Lett. 84, 3149~3152 (2000)

### 【0012】

#### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このようなスピン注入法は将来のナノ構造磁性体のスピン反転法として有望であるが、スピン注入による磁化反転に必要な電流磁場が $10^7$  A/cm<sup>2</sup>以上と非常に大きく、これが実用上の解決すべき課題となっていた。

### 【0013】

ところが、本発明者らは非磁性金属層を介して二つの強磁性層が互いに反平行に結合している三層構造に、別に設けた非磁性金属層あるいは絶縁層を介して強磁性層から電流を流すと、より小さな電流密度でスピン注入による磁化反転を起

こすことができることを見出した。

#### 【0014】

そこで、本発明は、より小さな電流密度でスピニ注入磁化反転することができるスピニ注入デバイス及びスピニ注入磁気装置を提供することを目的とするものである。

#### 【0015】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のスピニ注入デバイスのうち請求項1記載の発明は、スピニ偏極部と注入接合部とを有するスピニ注入部と、非磁性層を介して磁気的に反平行に結合した磁化の大きさが異なる第1の磁性層と第2の磁性層を有するSyAFとを備え、SyAFと注入接合部とが接合しており、スピニ注入部からスピニ偏極電子を注入し第1の磁性層及び上記第2の磁性層の磁化が反平行状態を維持したまま磁化反転する構成とした。

#### 【0016】

請求項2記載の発明は、上記構成に加え、スピニ注入部の注入接合部が、非磁性導電層及び非磁性絶縁層のいずれかであることを特徴とする。

請求項3記載の発明は、スピニ注入部の注入接合部が、スピニ偏極電子についてスピニ保存伝導可能及びトンネル接合可能のいずれかであることを特徴とするものである。

請求項4記載の発明は、スピニ注入部のスピニ偏極部が、強磁性層であることを特徴とする。

請求項5記載の発明は、スピニ注入部のスピニ偏極部が、強磁性層のスピニを固定する反強磁性層を接して設けたことを特徴とする。

請求項6記載の発明は、スピニ注入部の注入接合部と接合したSyAFの第1の磁性層及び第2の磁性層のアスペクト比が2以下であることを特徴とする。

#### 【0017】

このような構成のスピニ注入デバイスでは、スピニ偏極部から注入接合部を介してスピニ注入すると、SyAFのスピニが反平行状態を維持したまま磁化反転する。したがって、本発明のスピニ注入デバイスはより小さな電流密度で磁化反

転を起こすことができる。

#### 【0018】

本発明のスピニ注入磁気装置のうち請求項7記載の発明は、非磁性層を介して磁気的に反平行に結合した磁化の大きさが異なる第1の磁性層と第2の磁性層とを有するとともに、第1の磁性層と第2の磁性層の磁化が反平行状態を維持したまま磁化反転可能なフリー層と、フリー層と絶縁層を介してトンネル接合した強磁性固定層とを備え、強磁性固定層とフリー層とが強磁性スピントンネル接合した構成としたものである。

また請求項8記載の発明は、上記構成に加え、フリー層に接合する注入接合部とスピニ偏極部とを有するスピニ注入部を備えたことを特徴とする。

#### 【0019】

請求項9記載の発明は、スピニ注入部の注入接合部が、非磁性導電層及び非磁性絶縁層のいずれかであることを特徴とする。

請求項10記載の発明は、スピニ注入部の注入接合部が、スピニ偏極電子についてスピニ保存伝導可能及びトンネル接合可能のいずれかであることを特徴とする。

請求項11記載の発明は、スピニ注入部のスピニ偏極部が強磁性層であることを特徴とする。

請求項12記載の発明は、スピニ注入部のスピニ偏極部が、強磁性層のスピニを固定する反強磁性層を接して設けたことを特徴とする。

請求項13記載の発明は、スピニ注入部の注入接合部と接合したフリー層の第1の磁性層及び第2の磁性層のアスペクト比が2以下であることを特徴とするものである。

請求項14記載の発明は、スピニ注入部の注入接合部をワード線としたことを特徴とする。

#### 【0020】

このような構成のスピニ注入磁気装置では、スピニ注入するとフリー層の磁化反転が起き、固定層の磁化と平行又は反平行となることによりトンネル磁気抵抗効果が出現する。したがって、本発明のスピニ注入磁気装置は、より小さな電流

密度でスピン注入によるMTJのフリー層の磁化反転を起こすことができる。

### 【0021】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面に示した実施形態に基づいて本発明を詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

図1は本発明のスピン注入デバイスの概念図であり、(a)はSyAFのスピンが下向きの状態、(b)はスピン注入によりSyAFのスピンが上向きになった状態を示す概念図である。

### 【0022】

図1に示すように、本発明のスピン注入デバイス10は、スピン偏極部9と注入接合部7とを有するスピン注入部1と、反強磁性結合する非磁性層2を介して第1の磁性層4と第2の磁性層6とが三層構造を形成するSyAF3とを備え、これらが積層構造を形成する。

まず、本発明に係るSyAFについて説明する。

強磁性体が単層膜の磁化反転に必要な磁場 $H_{sw}$ は、一軸磁気異方性 $K_u$ 、飽和磁化 $M_s$ 、膜厚 $t$ 、幅 $w$ を用いて一般に次の式(1)で与えられる。

### 【0023】

$$H_{sw} = 2K_u/M_s + C(k)tM_s/w \quad (1)$$

ここで、第1項は磁気異方性による項、第2項は反磁界による項である。

### 【0024】

一方、同様に単磁区構造をとる場合、二つの強磁性層の膜厚 $t_1$ 、 $t_2$ 、飽和磁化 $M_1$ 、 $M_2$ をもつSyAFの磁化反転磁場は次式(2)で与えられる。

### 【0025】

$$H_{sw} = 2K_u/\Delta M_s + C(k)(t_1 + t_2)\Delta M_s/w \quad (2)$$

ここで、 $\Delta M = (t_1 + t_2)/(M_1 t_1 - M_2 t_2)$ 、 $w$ はSyAFの幅である。

### 【0026】

上記式(1)及び式(2)において、 $C(k)$ はアスペクト比 $k$ に依存する反磁界係数であり、 $k$ が1に近づくほど小さくなり、 $k=1$ では $C(k)=0$ であ

る。微小な素子の場合、一般に式（1）、式（2）ともに第2項の方が第1項を上回るので、また $\Delta M_s < M_s$ であるから、wが同じとき、SyAFの方が磁化反転磁場が小さくなる。一方、C（k）は $k = 1$ のときゼロとなるので、磁化反転磁場は式（1）、式（2）の第1項、すなわち磁気異方性によって決定され、素子サイズに依存しなくなる。

しかし、単層膜の場合にはkが少なくとも2以下では多磁区構造となるため、磁化反転磁場は式（1）では与えられず、その値は、より大きくなるとともに素子サイズに依存する。したがって、単層膜の場合には $k \leq 2$ の素子は現実的でない。

### 【0027】

ところが本発明者らは、本発明に係るSyAFの場合には $k \leq 2$ 、特に $k = 1$ でも単磁区構造になることを見出した。その結果、本発明に係るSyAFは、より小さな磁化反転磁場を得ることができ、特に $k = 1$ の素子では磁化反転磁場は素子サイズに依存しない。

本発明はこの発見に基づいており、SyAFにスピニ偏極電子を注入することで、より小さな電流密度で磁化反転を実現することができる。特に、 $k = 1$ の場合にはC（k）がゼロになるため、磁化反転磁場が著しく小さくなる。

### 【0028】

このような本発明に係るSyAF3は、図1（a）及び（b）を参照して、非磁性層2を介して第1の磁性層4と第2の磁性層6との二つの磁性層が互いに反平行に磁気結合している三層構造であり、それぞれの膜厚はナノメーターサイズで形成されている。このSyAF3にスピニ注入部1の非磁性金属層の注入接合部7を介して強磁性層のスピニ偏極部9からスピニ注入することで、SyAF3の磁化反転を実現する。

### 【0029】

非磁性層2はこれを介した両磁性層の磁化を反強磁性結合させる物質であり、この反強磁性結合体として、ルテニウム（Ru）、イリジウム（Ir）、ロジウム（Rh）が利用可能である。

なお、図1（a）中、5及び8は電流を流すための端子を示すが、他の図にお

いては省略した。強磁性層及び磁性層は導電体であるので電極との兼用ができるが、電極を別に設けて電流を流してもよい。

### 【0030】

図1 (b) に示すように、本発明に係るSyAF3は磁化反転が磁気的結合した第1の磁性層4の спинと第2の磁性層6の спинとが反平行状態を維持したままであり、大きさの異なる反平行状態の磁化、つまり大きさの異なる反平行状態のスピニンを有している。

第1の磁性層4の厚さを $t_1$ 、磁化を $M_1$ とし、第2の磁性層6の厚さを $t_2$ 、磁化を $M_2$ とすると、磁化の大きい方の向き ( $t_1 M_1 - t_2 M_2$ ) を図1中の強磁性層9のスピニンを示す矢印に対してSyAFのスピニンの向き↑又は↓とすることができる。

SyAF3の磁性層4及び磁性層6の反平行磁化の大きさに差異を設けるには、 $t_1 M_1$ と $t_2 M_2$ とが異なるようにすればよい。

### 【0031】

スピニン注入部1は強磁性層からなるスピニン偏極部9と非磁性導電層からなる注入接合部7とを積層した構造であり、非磁性導電層の注入接合部7はナノメーターサイズである。ここで、ナノメーターサイズとは電子がその運動量とスピニンを保存したまま伝導可能な大きさを意味する。つまり、この注入接合部7はスピニン保存伝導可能な大きさである。

金属の場合、電子の平均自由行程は $1 \mu m$ 以下であり、この $1 \mu m$ 以下のサイズの素子では、注入されたスピニンは緩和することなく他方に流れ込むことができる。

スピニン注入部1の注入接合部7は図2に示すように非磁性絶縁層12であってもよい。この非磁性絶縁層12はトンネル電流が流れるトンネル接合可能な大きなナノメーターサイズであり、数nmである。

### 【0032】

強磁性層からなるスピニン偏極部9は強磁性体であるが、伝導を担うフェルミ面でのアップスピニン電子とダウンスピニン電子の数が異なっており、この強磁性層のスピニン偏極部9からスピニン偏極した電子が非磁性金属層の注入接合部7に流れ込

むようになっている。

#### 【0033】

このような本発明に係るスピニ注入デバイスでは、数ミリアンペア程度の非常に小さな電流を流して、膜面内垂直方向に強磁性層のスピニ偏極部9から非磁性金属層（又は非磁性絶縁層12）の注入接合部7を介してスピニ注入すると、SyAF3の磁性層4のスピニと磁性層6のスピニとが反平行状態を維持したまま磁化反転する。したがって、本発明のスピニ注入デバイスでは、より小さな電流密度でスピニ注入による磁化反転ができる。これにより電流を流して磁界を印加することなく、微小な電流を流すだけでスピニ注入磁化反転ができるので、ロジック、メモリ及びストレージを備えたスピニ注入デバイスが実現可能となる。

#### 【0034】

次に、他の実施の形態を説明する。図3は本発明のスピニ注入デバイスに係る他の実施形態を示す概略図である。

図3を参照して、この実施形態では、スピニ偏極部9が反強磁性層21と強磁性層23とを有する構造であり、強磁性層23に反強磁性層21を近接させることで強磁性層21のスピニを固定している。また、注入接合部はスピニ保存伝導可能な非磁性金属層25であり、これに代えてトンネル接合可能な絶縁層を用いてもよい。

#### 【0035】

このような構成ではスピニ偏極部のスピニを固定してスピニ注入し、SyAFの磁化反転ができる。

#### 【0036】

次に、本発明のスピニ注入磁気装置について説明する。図4は本発明のスピニ注入磁気装置の概略図である。

図4を参照して、スピニ注入磁気装置30は、フリー層としたSyAF3と、強磁性層32及び反強磁性層34からなる固定層31とが、絶縁層33でトンネル接合した強磁性スピントンネル接合（MTJ）素子36であって、このMTJ素子36に強磁性層であるフリー層を磁化反転させるためのスピニ注入部1を備えている。スピニ注入部1は注入接合部をトンネル接合可能な絶縁層12にした

ものである。

### 【0037】

このようなスピニ注入磁気装置では、強磁性層23から絶縁層12を介してSyAF3にスピニ注入すると、このSyAF3の磁化が反転する。このSyAF3であるフリー層の磁化が↑又は↓に反転して固定層の磁化と平行又は反平行となることにより、トンネル磁気抵抗（TMR）効果が出現する。したがって、このスピニ注入磁気装置30は、より小さな電流密度でスピニ注入によるフリー層の磁化反転を起こすことができる。

このように本発明のスピニ注入磁気装置は超ギガビット大容量・高速・不揮発メモリに利用可能になる。

### 【0038】

このようなスピニ注入磁気装置では、フリー層のSyAFをトンネル接合可能な絶縁膜で挟み又は覆って、このSyAFに対応する部分のスピニ注入部でワード線として結合して微細加工し、固定層側の強磁性層にビット線を連結して微細加工することにより、MRAMの基本構造とすることができます。

### 【0039】

次に、本発明の実施例について説明する。

第1の実施例は図3に相当する構造としたものである。

超高真空スパッタ装置を用いて、熱酸化Si基板上に、Cu(100nm) / NiFe(3nm) / IrMn(10nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(3nm) / Cu(3nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(3nm) / Ru(0.45nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(5nm) / Ta(5nm) 膜を作製した。

ここで、括弧内は膜厚を意味しており、Cu(100nm) / NiFe(3nm) はバッファー層、IrMnは反強磁性体、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(3nm) / Ru(0.45nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(5nm) はSyAF、Ta(5nm) は電極である。Ruはこれを介した両磁性層の磁化を反強磁性結合させることができるものである。IrMnに接したCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(3nm) はそのスピニが固定される。

次に、この膜を電子ビームリソグラフィとArイオンミリングを用いて0.3μm × 0.3μmに微細加工した。

## 【0040】

この素子に対して上下のCuとTa膜間に電流を流し、その大きさを変えて抵抗を室温で測定した。

この結果を図5に示す。図5においてAPは抵抗の高い状態を、Pは抵抗の低い状態を意味している。このように電流を流すことによって抵抗が高い状態と低い状態が創り出されており、電流による磁化反転が生じている。このときの臨界電流は約5mAである。

図5に示すように、5mAで抵抗の飛びがある。この飛びはSyAFの磁化反転によってCu層を介したCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>との間でGMRが発現したことによるものである。すなわち、スピン注入によってSyAF膜が磁化反転したことを示している。このときの電流密度は $5.5 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ である。これは従来の単層膜より一桁小さく、このSyAFの反磁界がゼロに近い値をもつことによるものと思われる。

## 【0041】

次に第2の実施例について説明する。この第2の実施例は、図4に相当する構造に対するものである。

マグнетロンスパッタ法を用いて、熱酸化Si基板上にCu(100nm) / NiFe(3nm) / IrMn(10nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(3nm)をまず作製した。次にこの膜の上に厚さ3nmのSiO<sub>2</sub>をスパッタし、さらにその上にCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1nm) / Ru(0.45nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1.5nm) / SiO<sub>2</sub>(3nm)をスパッタした。

次に、上部磁性層として、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(10nm) / IrMn(10nm) / Ta(5nm)を成膜した。

## 【0042】

この膜の断面を透過型電子顕微鏡を用いて調べた結果、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1nm) / Ru(0.45nm) / Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1.5nm)はSiO<sub>2</sub>中に一層だけ層状に分散した粒子状をしており、SiO<sub>2</sub>を絶縁マトリックスとする二重トンネル構造であることがわかった。この構造に対して、上下のCuとTa膜間に電圧を印加して電流を流し、そのときの抵抗を電流を変化させて室温で測定した

結果、約0.1mAで抵抗の飛びを観測した。これはCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1nm)/Ru(0.45nm)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1.5nm)SyAFの磁化反転に伴うTMRの発現によるものであり、スピン注入によって磁化反転したことを意味している。

### 【0043】

#### 【発明の効果】

以上の説明から理解されるように、本発明のスピン注入デバイスは小さな電流密度で磁化反転を起こすことができるという効果を有する。また本発明のスピン注入磁気装置は、より小さな電流密度でスピン注入によるMTJのフリー層の磁化反転を起こすことができるという効果を有する。

したがって、超ギガビット大容量・高速・不揮発のMRAMをはじめ種々の磁気装置に利用可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明のスピン注入デバイスの概念図であり、(a)はSyAFのスピンが下向きの状態、(b)はスピン注入によりSyAFのスピンが上向きになった状態を示す概念図である。

##### 【図2】

注入接合部が非磁性絶縁層であるスピン注入デバイスの概略図である。

##### 【図3】

本発明のスpin注入デバイスの他の実施形態を示す概略図である。

##### 【図4】

本発明のスpin注入磁気装置の概略図である。

##### 【図5】

実施例1の電流による磁化反転を示す図である。

##### 【図6】

従来のスpin磁化反転の原理を示す概略図である。

#### 【符号の説明】

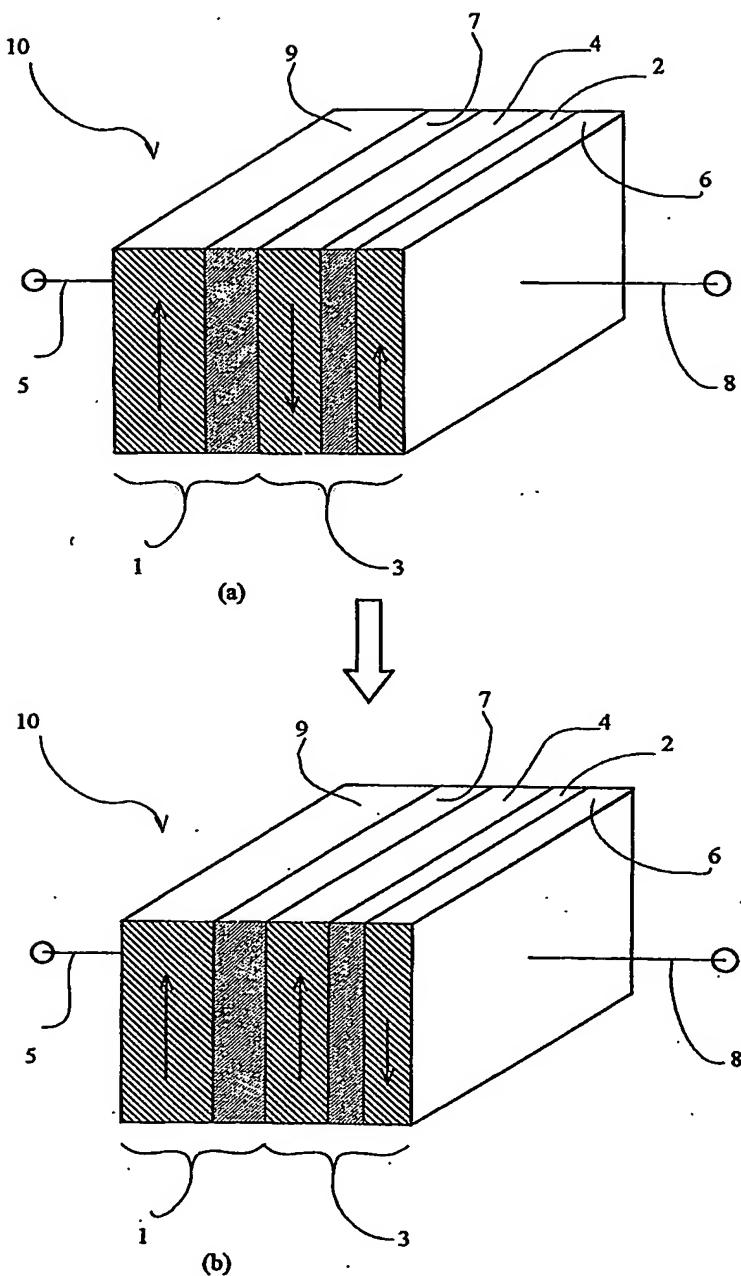
- 1 スpin注入部

- 2 非磁性層
- 3 S y A F
- 4 第1の磁性層
- 6 第2の磁性層
- 7 注入接合部
- 9 スピン偏極部
- 10 スピン注入デバイス
- 12 非磁性絶縁層
- 21 反強磁性層
- 23 強磁性層
- 25 非磁性金属層
- 30 スピン注入磁気装置
- 31 固定層
- 32 強磁性層
- 33 絶縁層
- 36 MTJ素子

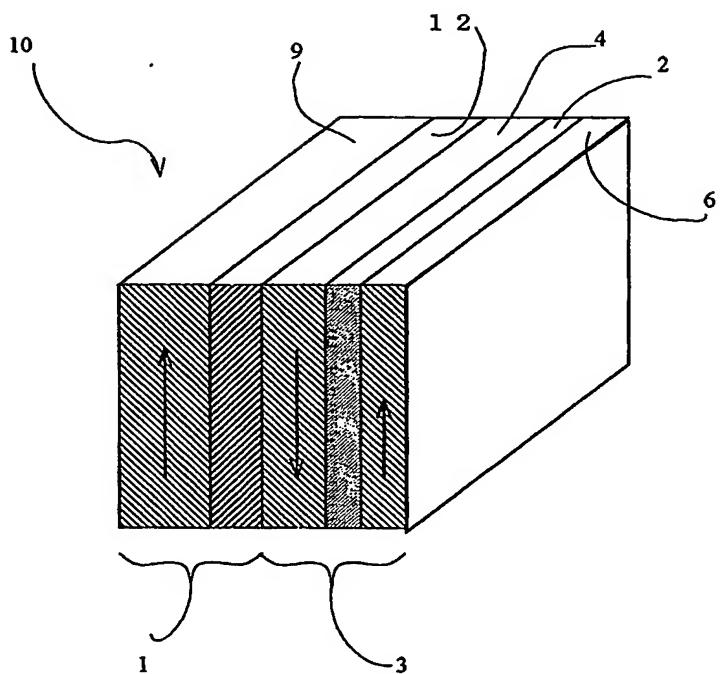
【書類名】

図面

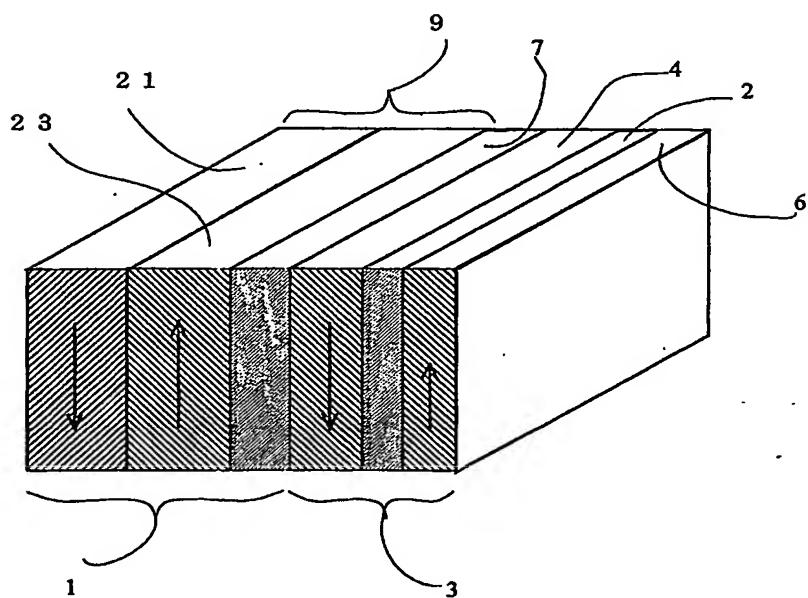
【図1】



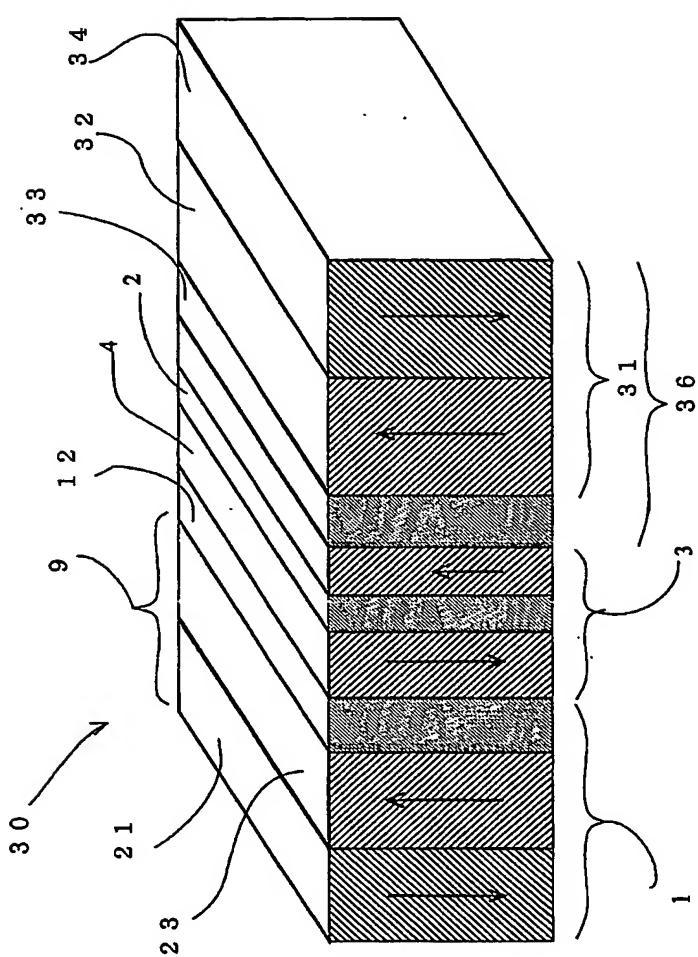
【図2】



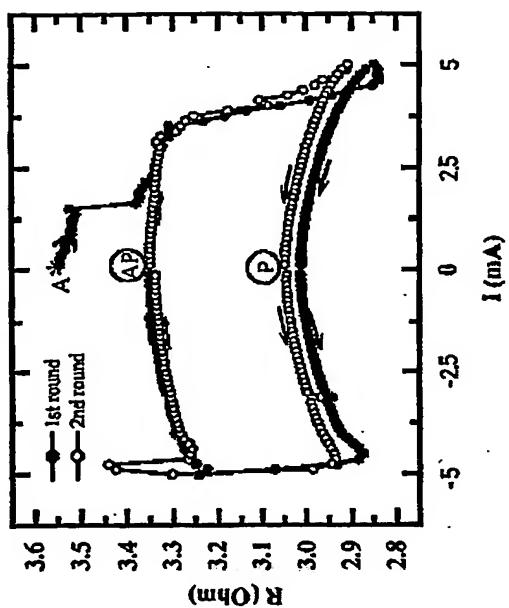
【図3】



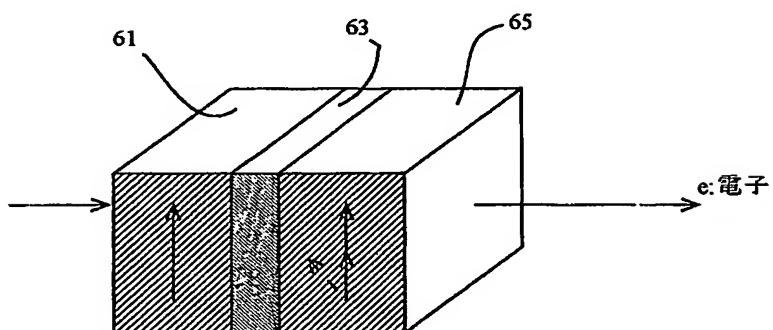
【図4】



【図5】



【図6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より小さな電流密度でスピン注入磁化反転することができるスピン注入デバイスを提供する。

【解決手段】 スピン注入デバイス10は、スピン偏極部9と注入接合部7とを有するスピン注入部1と、反強磁性結合する非磁性層2を介して第1の磁性層4と第2の磁性層6とが三層構造を形成するS y A F 3とを備え、これらが積層構造を形成する。端子5及び端子8から電流を流してスピン注入しS y A F 3の磁化が反転する。超ギガビット大容量・高速・不揮発のMRAMをはじめ種々の磁気装置に利用できる。

【選択図】 図1

【書類名】 出願人名義変更届（一般承継）  
【提出日】 平成15年10月31日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【事件の表示】  
【出願番号】 特願2002-363127  
【承継人】  
【識別番号】 503360115  
【住所又は居所】 埼玉県川口市本町四丁目1番8号  
【氏名又は名称】 独立行政法人科学技術振興機構  
【代表者】 沖村 憲樹  
【連絡先】 〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 独立行政法人科学技術振興機構 知的財産戦略室 佐々木吉正 TEL 03-5214-8486 FAX 03-5214-8417

【提出物件の目録】  
【物件名】 権利の承継を証明する書面 1  
【援用の表示】 平成15年10月31日付提出の特第許3469156号にかかる一般承継による移転登録申請書に添付のものを援用する。  
【物件名】 登記簿謄本 1  
【援用の表示】 平成15年10月31日付提出の特第許3469156号にかかる一般承継による移転登録申請書に添付のものを援用する。

特願 2002-363127

出願人履歴情報

識別番号 [396020800]

1. 変更年月日 1998年 2月 24日

[変更理由] 名称変更

住所 埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
氏名 科学技術振興事業団

特願 2002-363127

出願人履歴情報

識別番号

[503360115]

1. 変更年月日 2003年10月 1日

[変更理由] 新規登録

住所 埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
氏名 独立行政法人 科学技術振興機構